

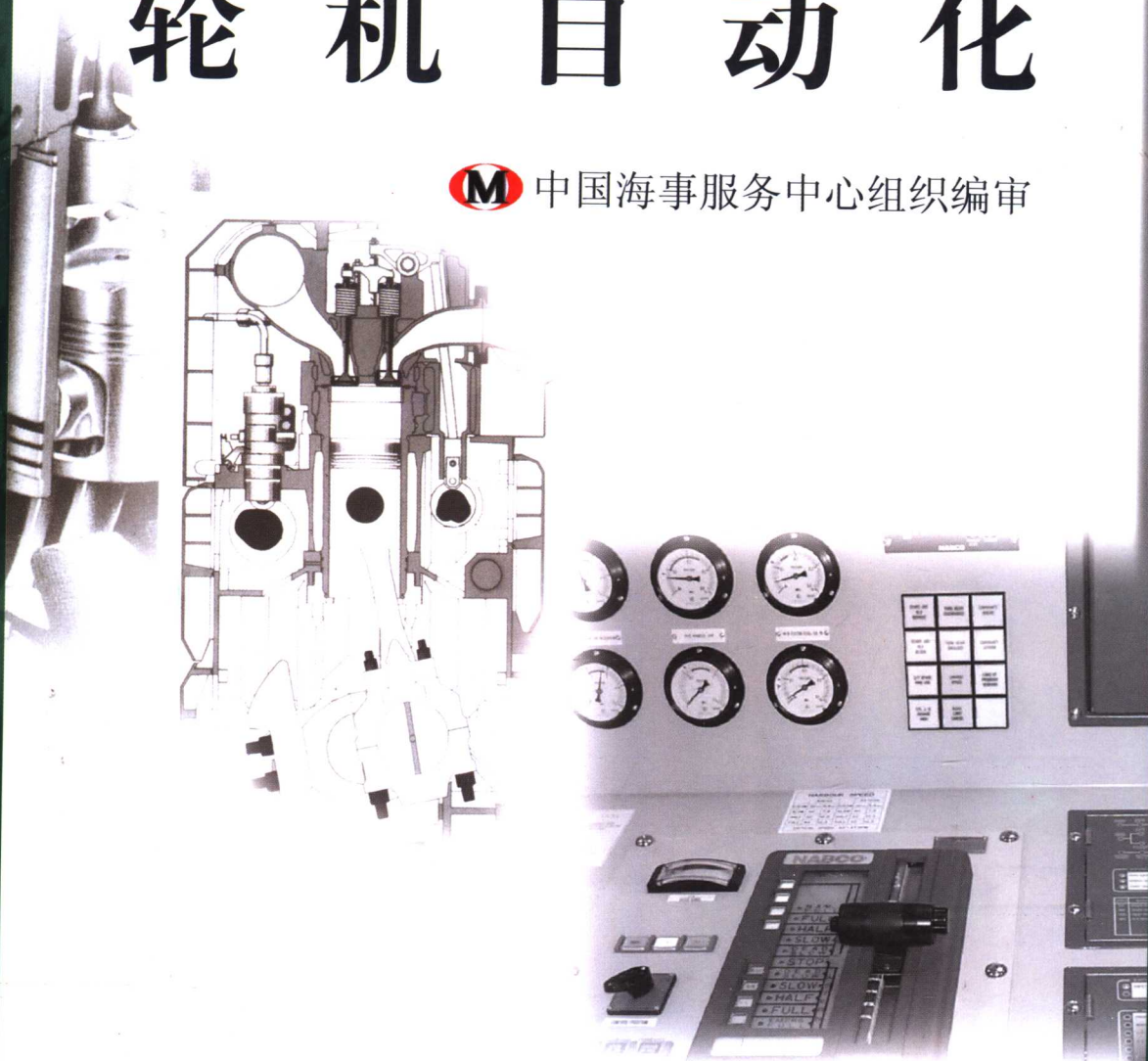
轮机专业

新版

全国海船船员适任考试培训教材

轮机自动化

 中国海事服务中心组织编审



大连海事大学出版社
Dalian Maritime University Press



人民交通出版社
China Communications Press

U664.1
4447

新版

全国海船船员适任考试培训教材

2005 林善翁, 田国李 ©

2005 林善翁, 田国李 ©

轮机自动化

中国海事服务中心组织编审

大连海事大学出版社

人民交通出版社

元 00.00 价字

© 李世臣,徐善林 2008

图书在版编目(CIP)数据

轮机自动化 / 李世臣,徐善林主编. —大连:大连海事大学出版社;北京:人民交通出版社, 2008. 3

全国海船船员适任考试培训教材

ISBN 978-7-5632-2154-7

I. 轮… II. ①李…②徐… III. 轮机—自动化—技术培训—教材 IV. U664.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 035103 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮编:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连天正华延彩色印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2008年3月第1版 2008年3月第1次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:22.75

字数:579 千 印数:1 ~ 5000 册

责任编辑:史洪源 版式设计:海 韵

封面设计:王 艳 责任校对:枫 叶

ISBN 978-7-5632-2154-7 定价:60.00 元

前 言

《中华人民共和国海船船员适任考试、评估和发证规则》(简称 04 规则)已于 2004 年 8 月 1 日生效,新的《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》也自 2006 年 2 月 1 日实施。为了更好地帮助、指导船员进行适任考前培训和进一步提高船员适任水平,在交通部海事局的领导下,中国海事服务中心组织全国有丰富教学、培训经验和航海实际经验的专家共同编写了与《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》相适应的培训教材。本教材的编写将改变长期以来船员适任培训使用本、专科教材的现状,消除由于教材版本众多所造成知识内容上存在的混淆和分歧,对今后的船员适任培训具有重要的指导意义。

本套教材知识点紧扣考试大纲,具有权威、准确、系统、实用的特点,重点突出船员适任考前培训和航海实践需掌握的知识,旨在培养船员在实践中应用知识的能力,并可作为工具书为船员上船工作使用。本套教材在着重于航海实践的同时,紧密结合现代船舶的特点,考虑到将来有关船舶技术的发展,教材内容涉及到最新的航海技术,与时俱进,进一步拓展船员的知识层次。

本套教材由航海学、船舶值班与避碰、航海气象与海洋学、船舶操纵、海上货物运输、船舶结构与设备、船舶管理(驾驶)、船长业务、航海英语、轮机英语、轮机长业务、轮机工程基础、主推进动力装置、船舶辅机、船舶电气、轮机自动化、轮机维护与修理、船舶管理(轮机)组成。

本套教材在编写、出版工作中得到中华人民共和国海事局、各航海院校、海员培训机构、航运企业、人民交通出版社、大连海事大学出版社等单位的关心和大力支持,特致谢意。

中国海事服务中心

2008 年 2 月

编者的话

《轮机自动化》是全国海船船员适任考试用轮机工程专业培训教材之一。根据“新大纲”对本门考试所规定的内容,书中增加了多种新型的控制系统,主要包括基于单片机的 VISCOCHIEF 燃油黏度控制系统、基于 PLC 的锅炉水位和燃烧控制系统、基于微机的主机遥控系统和电子调速系统、基于微机的网络型监视与报警系统、基于微机控制的船舶电站系统等控制系统。

在编写过程中本着精简、更新、实用和突出轮机管理专业特点的原则,侧重阐述轮机自动化中具有普遍性、规律性和先进性的内容,从而使本书具有针对性、适用性和系统性强以及篇幅适中、简明易懂、理论与实际密切结合的特点。本书覆盖 3 000 kW 及以上船舶和 750 ~ 3 000 kW 船舶轮机长/大管轮对“轮机自动化”课程考试所要求的全部内容,内容深度是从轮机工程专业的特点出发,并根据海船对自动控制与监视系统应用的实际,结合现行国内外船舶在机舱自动控制和集中监视等系统中所采用的先进技术,以定性分析为主,尽量不采用比较繁琐的公式推导和计算,做到内容精练,阐述和分析“轮机自动化”方面的基本原理和应用实例时,由浅入深,所使用的语言通俗易懂,便于自学;尽量体现微机等新的科学技术在船舶机舱自动控制与监视系统中的应用,以适应对现代新型船舶管理的需要。本书在整体上更好地体现了“新大纲”的要求。

本书为高级船员适任考试培训用的“轮机自动化”课程教材,也可作为本科、高职、中职学生学习轮机自动化的参考书,也可供从事远洋和沿海运输船舶的有关船员、机务部门和修造船厂的技术人员等参考。

本书共分七章,包括轮机自动控制基础知识、微型计算机的基本知识、船用气动仪表、船舶机舱自动控制系统实例、主机遥控系统、集中监视与报警系统及船舶电站自动化等内容。其中第一、四、六(第五节除外)、七(第七节除外)章和第五章第八节三、第九节、第十一节七由李世臣副教授编写;第二(第五和六节除外)、三、五(第八节三、第九节和第十一节七除外)章由徐善林副教授编写;第六章第五节、第七章第七节由林叶锦副教授编写;第二章第五和六节由黄党和轮机长编写。本书由大连海事大学李世臣和上海海事大学徐善林共同主编(排名不分先后),并由李世臣负责统稿,中国海事服务中心考试中心黄党和、上海海事职业技术学院谷宪生参与了主要审定工作。

在教材编写过程中,得到了中华人民共和国海事局、中国远洋运输(集团)总公司、中国海运(集团)总公司、轮船公司及兄弟院校有关单位的领导和众多专家的支持和指导,得到了大连海事大学和上海海事大学轮机自动化教研室和实验室全体同仁的帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限、时间仓促,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编者
2008年2月

目 录

第一章 自动控制基础知识	1
第一节 反馈控制系统的概念.....	1
第二节 控制对象的特性.....	8
第三节 调节器的作用规律.....	14
第二章 微型计算机的基本原理	24
第一节 数制与数码.....	24
第二节 微型计算机的组成及其基本工作过程.....	28
第三节 存储器.....	33
第四节 微型计算机的输入/输出接口.....	35
第五节 模拟量输入/输出接口.....	42
第六节 可编程序控制器.....	45
第三章 船用气动仪表	55
第一节 自动化仪表的基本知识.....	55
第二节 气动变送器.....	64
第三节 气动显示仪表.....	70
第四节 气动调节器.....	72
第五节 气动执行器.....	81
第四章 船舶机舱自动控制系统实例	83
第一节 柴油机气缸冷却水温度自动控制系统.....	83
第二节 燃油黏度控制系统.....	96
第三节 辅锅炉的自动控制.....	112
第四节 分油机的自动控制.....	128
第五节 自清洗滤器的自动控制.....	136
第五章 主机遥控系统	139
第一节 主机遥控系统的组成及功能.....	139
第二节 常用遥控阀件与遥控气源.....	143
第三节 遥控车钟及操纵部位的转换.....	149
第四节 换向逻辑控制.....	152
第五节 起动逻辑控制.....	154
第六节 制动逻辑控制.....	162
第七节 转速控制与负荷限制.....	164
第八节 电—气转换装置及执行机构.....	174
第九节 MAN-B&W-S-MC/MCE 主机的气动操纵系统.....	182
第十节 集成电子电路控制的主机遥控系统.....	192
第十一节 微机控制型主机遥控系统(AC-4型).....	204

第六章 集中监视与报警系统	228
第一节 集中监视与报警系统的基本概念.....	228
第二节 机舱中常用的传感器.....	232
第三节 单元组合式集中监视与报警系统.....	248
第四节 微机控制的集中监视与报警系统.....	254
第五节 网络型监视与报警系统.....	263
第六节 曲柄箱油雾浓度监视报警器.....	278
第七章 船舶电站自动化	289
第一节 船舶电站自动化的主要功能.....	289
第二节 船舶发电机组的自动起动与停机.....	290
第三节 交流发电机的自动并车.....	294
第四节 频率与有功功率的自动调节.....	299
第五节 电压与无功功率的自动调节.....	301
第六节 船舶电力系统的综合保护.....	305
第七节 计算机控制的船舶电站系统.....	308
练习题	323
参考文献	356



第一章 自动控制基础知识

轮机自动化是指船舶机舱动力装置及设备系统的控制、监测和管理自动化。它用各种自动化仪表及控制元件和逻辑元件包括计算机在内所组成各种控制和监视系统,能部分地或绝大部分地代替轮机管理人员,对机舱中的运行参数进行自动控制、监视、显示、记录和报警以及对主要机器设备进行自动操作。自动化水平往往是衡量动力装置技术先进程度的重要标志。管好用好轮机自动化设备对提高动力装置运行的可靠性、安全性和经济性,对降低船舶营运成本、改善轮机管理人员的工作条件及提高船舶技术管理水平都具有十分重要的意义。

轮机自动化包括:反馈控制系统、远距离操作(遥控)系统、集中监视与报警系统、自动开关与切换系统及安全保护系统。

轮机自动化是随着现代化科学技术的不断发展而逐渐完善起来的。20世纪60年代以前的几十年,机舱里的自动控制只发展到单项设备或局部系统采用自动化技术,如:发电机上的调速器,制冷装置中的膨胀阀、温度和压力继电器。轮机自动化是在近几十年才得到突飞猛进的发展。60年代初世界上制造出机舱内设置集中监视屏和控制台及只需1人在集中控制室值班的船舶;60年代中期,发展到机舱可无人值班(无人机舱),即轮机管理人员可在8 h、12 h、24 h,甚至36 h无需到机舱。进入70年代,引入计算机对船舶进行控制与管理。当时有1台计算机对全船进行集中控制与管理及用多台计算机进行分散控制与管理两种方案。以后随着微型计算机的发展和广泛的应用。到70年代末,不仅机舱,就是全船也采用微型计算机进行分散控制与监视。到80年代中期,微型计算机迅速发展,集成度不断提高,中央处理单元CPU由8位发展到16位、32位和32位以上,运算速度提高、容量增大、软件功能不断丰富、高可靠性的计算机系统相继出现,并且计算机价格却不断下降。这些因素都促使微型计算机在船舶动力装置监控中的迅速发展,也促进轮机自动化的发展和普及。现在广泛采用高可靠性的由多台微型计算机组成的集中一分散式控制系统。这种系统的下位机已经采用单片机或可编程控制器。进入90年代,随着“驾机合一”船舶的出现,把轮机自动化又提高到一个崭新的水平,一方面应用计算机实现船舶动力装置的最佳控制、自适应控制;另一方面用计算机对机舱进行全面的技术管理。如自动进行故障诊断、预报所要检修的项目和时间、所需备件存放位置、随时进行热平衡计算和分析等,大大提高了其智能化的程度。应当指出,随着科学技术突飞猛进的发展,新的科技成果在轮机自动化中得到快速和广泛的应用。机舱中各种自动控制与监视系统的种类和数量越来越多,系统的组成和结构越来越复杂,智能化程度越来越高,轮机自动化的更新换代越来越快,使管理人员掌握它们的难度也就越来越大。这就要求轮机管理人员要有较高的文化素质和分析问题、解决问题的能力。现在已把对轮机自动化管理水平的高低,作为衡量轮机管理人员技术水平的重要标志,这样我们只有不断学习新的技术知识,更新管理观念,才能管好、用好自动化水平高的现代船舶。

第一节 反馈控制系统的概念

反馈控制系统的作用是把各种运行设备的参数如温度、压力、液位、黏度等控制在所希望



的最佳值上。尽管机舱中众多设备参数的种类不同,其控制系统的结构形式也不相同,但是组成这些控制系统的基本单元及其工作过程大致是相同的。下面仅以柴油机气缸冷却水温度控制为例,说明反馈控制系统的组成及其基本概念。

一、反馈控制的概念

1. 系统的组成及基本概念

自动控制过程实际上是直接模拟手动操作过程,图 1-1-1 画出了手动控制和自动控制柴油机气缸冷却水温度的示意图。

柴油机在运行过程中需要保持一个最佳的冷却水温度,比如冷却水进口温度为 70℃。在手动控制时,管理人员要用眼睛观察温度表,并把观察到的冷却水实际温度报告给大脑,大脑对这一水温进行分析(温度的实际值是否偏离了最佳值)、判断(实际水温是高于最佳值还是低于最佳值)和计算(实际水温离开最佳值的数量),然后输出一个控制指令给双手,用双手来改变三通调节阀的开度,从而可改变对气缸冷却水的冷却强度,使冷却水的实际温度逐渐恢复到冷却水温度的最佳值上。在自动控制过程中,由于不需要人来干预控制过程,因此必须采用各种自动化仪表来代替人的观察、思考和操作。比如可用温度传感器和变送器来代替人的眼睛,随时测量冷却水的实际温度并把该值送给调节器。调节器相当人的大脑对冷却水温度进行分析、判断和计算,然后输出控制信号给执行机构。执行机构相当于人的双手来改变三通调节阀的开度。通过这个实例,我们可以看到,对任何运行参数进行控制所组成的控制系统,必定要由最基本的四个单元组成,这就是:控制对象、测量单元、调节单元、执行机构。

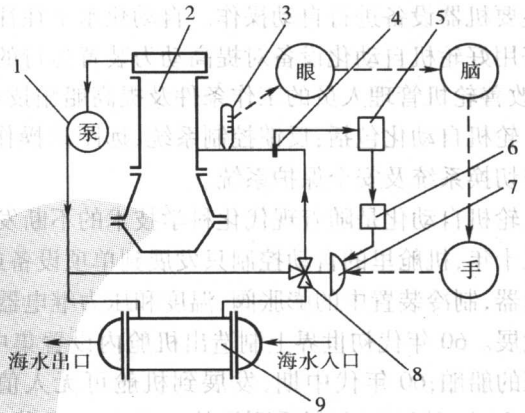


图 1-1-1 柴油机气缸冷却水温度控制过程示意图

- 1—淡水泵;2—柴油机;3—温度表;4—感温元件;5—温度变送器;
- 6—调节器;7—执行机构;8—三通电磁阀;9—淡水冷却泵

(1) 控制对象

控制对象是指所要控制的机器、设备或装置。把所要控制的运行参数叫做被控量。例如,在锅炉水位自动控制系统中,锅炉是控制对象,水位是被控量;在锅炉蒸汽压力控制系统中,锅炉是控制对象,蒸汽压力是被控量;在柴油机气缸冷却水温度自动控制系统中,淡水冷却器是控制对象,冷却水温度是被控量;在燃油黏度自动控制系统中,燃油加热器是控制对象,燃油黏度是被控量;在空气压力自动控制系统中,空气瓶是控制对象,空气压力是被控量;在柴油机转速的控制系统中,柴油机是控制对象,转速是被控量,等等。

(2) 测量单元

测量单元的作用是,检测被控量的实际值,并把它转换成标准的统一信号,该信号叫被控量的测量值。在气动控制系统中,对应被控量的满量程,其统一的标准气压信号是 0.02 ~ 0.1 MPa;在电动控制系统中,对应被控量的满量程。其统一的标准电流信号是 0 ~ 10 mA 或 4 ~ 20 mA,现用 4 ~ 20 mA 居多。在温度自动控制系统中,测量单元常采用温度传感器和温度变送器;在压力自动控制系统中,测量单元常采用压力传感器和压力变送器;在锅炉水位控制



系统中,测量单元常采用水位发讯器(参考水位罐)和差压变送器,等等。

(3) 调节单元

调节单元是指具有各种调节作用规律的调节器把运行参数所希望控制的最佳值叫给定值,用 r 表示;被控量的测量值用 z 表示。把被控量的测量值离开给定值的数量叫偏差值,用 e 表示。显然 $e=r-z$ 。

当 $e>0$,说明测量值低于给定值,叫正偏差;

当 $e<0$,说明测量值大于给定值,叫负偏差;

当 $e=0$,说明测量值等于给定值,为无偏差。

调节器首先接收测量单元送来的被控量的测量信号,并与被控量的给定值相比较得到偏差信号,再根据偏差信号的大小和方向(正偏差还是负偏差)。依据某种调节作用规律输出一个控制信号。对被控量施加控制作用,直到偏差等于零或接近零为止。在实际应用中,调节单元有位式调节器、比例调节器、比例积分调节器、比例微分调节器、比例积分微分调节器五种,根据控制对象的特性不同及对被控量控制精度的要求,其控制系统可选用不同调节作用规律的调节器。

(4) 执行机构

执行机构的输入量是调节单元输出的控制信号,执行机构的输出量是调节阀的开度。调节单元输出的控制信号经执行机构直接改变调节阀的开度,从而可改变流入控制对象物质或能量流量,使之能符合控制对象负荷的要求,被控量会逐渐回到给定值或给定值附近,系统将会达到一个新的平衡。在气动控制系统中,执行机构一般是气动薄膜调节阀或气动活塞式调节阀;在电动控制系统中,一般采用可逆转伺服电机或三相交流伺服电机。

由此可见,对一个完整的控制系统来说,以上四个单元在组成中是缺一不可的。通常一般都还设有显示单元,用来指示被控量的给定值和测量值。同时,对气动控制系统来说,应设有气源装置和定值器;对电动控制系统尚需设稳压电源等辅助装置。

2. 反馈控制系统传递方框图

为了分析反馈控制系统工作过程方便起见,可把组成反馈控制系统的四个基本单元分别用一个小方框来表示,并用带箭头的信号线来表示各单位之间的信号传递关系。这样就构成了如图 1-1-2 所示的反馈控制系统传递方框图。通过传递方框图,要明确以下几个概念。

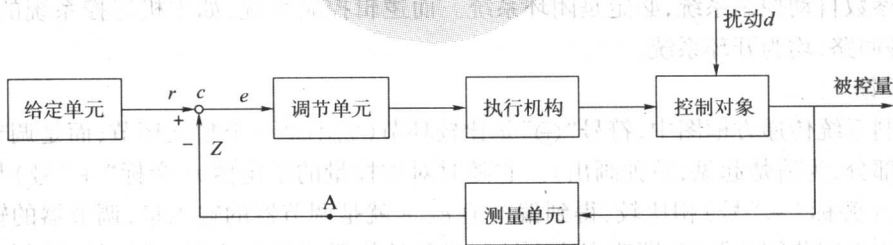


图 1-1-2 反馈控制系统传递方框图

(1) 环节

在传递方框图中,代表实际单元的每个小方框称为一个环节。作为一个环节必须满足两个条件:其一是,必定有输入量和输出量,并用带箭头的信号线来表示。其中箭头指向该环节的信号线为输入量,箭头离开该环节的信号线为输出量,在信号线上可标明输入和输出量的名称,也可以不写。其二是,任何环节输出量的变化均取决于输入量的变化及该环节的特性;而



输出量的变化不会直接影响输入量,这就是信号传递的单向性。

(2) 扰动

要把控制对象看做一个环节,它的输出量是被控量。引起被控量变化的一切因素统称为扰动或扰动量。显然,扰动量是控制对象的输入量。扰动量可分为两类:一类是轮机人员无法控制的扰动,称为外部扰动。例如,以锅炉为控制对象的水位控制系统,水位是被控量,锅炉负荷(外部用汽量)的变化会引起水位的变化,是扰动量。在柴油机气缸冷却水温度控制系统中,水温是被控量。柴油机负荷的变化、海水温度的变化、淡水冷却器中水管结水垢的多少等都会引起冷却水温度的变化,这些都是扰动量。这些扰动都是管理人员无法控制的,是属于外部扰动。另一类是轮机人员可以控制的扰动,称为基本扰动。例如,在水位控制系统中,给水调节阀开度的改变(会引起水位的变化,是输入量),在冷却水温度控制系统中,改变三通调节阀的开度(会引起水温的变化,是输入量),这些扰动是管理人员可以控制的,属于基本扰动。在图 1-1-2 中,有两个信号线的箭头指向控制对象,它们分别是基本扰动(执行机构的输出,即调节阀的开度)和外部扰动(用 d 表示的信号线,即控制对象负荷的变化)。

从控制对象这一环节可以看出,输入信号(包括基本扰动和外部扰动)的改变,会引起输出量(水位、水温等)的改变,而输出量的变化,不会直接影响调节阀的开度和控制对象负荷的改变,这就是信号传递的单向性。

对于基本扰动来说,改变调节阀的开度,会改变流入控制对象物质或能量流量,所谓物质流量是指,调节阀开度改变后,流入控制对象的物质(水、空气等)流量直接影响被控量的变化。例如,水位控制系统,流经给水阀水流量的改变,会影响水位的高低。所谓能量流量是指,调节阀开度改变后,被控量的变化不是取决于物质流量的改变,而是与其中所含能量的多少有关,例如,在燃油黏度控制系统中,燃油黏度的改变不是取决于流经蒸汽调节阀的蒸汽流量,而是蒸汽中所包含的热量。

(3) 闭环系统

在反馈控制系统传递方框图中,前一环节的输出就是后一环节的输入。这样,控制系统就形成一个封闭控制回路,称为闭环系统,反馈控制系统必定是闭环系统。如果在某处把网路断开,比如在图 1-1-2 中的 A 处断开,这时系统就由闭环系统变为开环系统。开环系统不再是反馈控制系统,也就不能对被控量进行自动控制。

运行参数自动控制系统,必定是闭环系统。而逻辑控制系统,如主机遥控系统的起动、换向、制动等回路,均为开环系统。

(4) 反馈

在控制系统传递方框图中,符号“ \oplus ”是比较环节(它不是一个独立环节,而是调节器中的一个组成部分,为清楚起见,单独画出)。它随时对被控量的给定值 r (旁标“+”号)与被控量的测量值 z (旁标“-”号)相比较,得到偏差值 e 。 e 就是调节器的输入量,调节器的输出量经执行机构改变调节阀的开度,即改变流入控制对象的物质或能量流量,目的是控制被控量,而被控量的变化经测量单元又反送到调节器的输入端,这个过程叫反馈。只有反馈才能随时对被控量的给定值和测量值进行比较,只要存在偏差,调节器就会指挥调节阀改变开度,直到测量值回到给定值使偏差 $e=0$ 为止。这时调节器输出不再改变,调节阀的开度正好适应负荷的要求,控制系统达到一个新的平衡状态。可见对运行参数的自动控制必须要有反馈过程,这就是把运行参数的自动控制系统称为反馈控制系统的原因。

在反馈中,有正反馈和负反馈之分。正反馈是指经反馈能加强闭环系统输入效应,即使偏



差 e 增大。负反馈是指经反馈能减弱闭环系统输入效应,即使偏差 e 减小。显然,按偏差控制运行参数的控制系统,必定是负反馈控制系统。但是,在自动化仪表中,特别是在调节器中。为实现某种作用规律和功能,常采用复杂的正、负反馈回路。

现在,可用前面介绍的名词和概念,来描述反馈控制系统的工作过程:

系统在初始平衡(受到扰动前,系统稳定运行)状态时,突然受到一个扰动(控制对象受到的扰动,也可以看做是系统受到的扰动),被控量将离开初始稳定值发生变化,测量单元将把被控量的实际值检测下来,并转变成统一的标准信号送至调节器的输入端,调节器随时对被控量的给定值与测量值进行比较,得到偏差值 e ,并作为调节器的输入量,调节器依据某种调节作用规律输出一个控制信号,从而改变调节阀的开度,也就是改变流入控制对象的物质或能量流量,从而可以克服扰动,逐渐消除偏差,最终使被控量又回到给定值或给定值附近,系统达到一个新的平衡状态。

二、反馈控制系统的分类

反馈控制系统按其用途、形式和特点有多种分类方法,通常有以下几种分类:

1. 按所用能源分类

反馈控制系统分为气动控制系统和电动控制系统。在气动控制系统中,用压缩空气作为能源,气源压力是 0.14 MPa,各种气动仪表输入和输出信号为标准的气压信号 0.02 ~ 0.1 MPa。在电动控制系统中,用电能作为能源,各种电动仪表的输入和输出信号是标准的电流信号 0 ~ 10 mA 或 4 ~ 20 mA。

2. 按仪表的结构形式分类

按仪表结构形式可分为单元组合仪表和基地式仪表。若组成控制系统的各个单位都分别制成一台独立的仪表,各仪表之间用标准的统一信号联系起来,叫单元组合仪表。若把测量单元、调节单元和显示单元组装成一台仪表。在这台仪表中,虽然仍有测量、显示和调节等功能,但在结构上,它们已是不可分割的整体,因而它们之间也不用标准信号加以联系,这种仪表叫基地式仪表。

3. 按给定值的变化规律分类

按给定值变化规律控制系统可分为定值控制系统、程序控制系统和随动控制系统。在定值控制系统中,给定值是不变的。当系统受到扰动后,被控量的测量值会离开给定值出现偏差,控制系统的作用是逐渐消除偏差,使被控量最终回到原来的给定值上或给定值附近。机舱中大多数运行参数的自动控制系统均属于定值控制系统。一般在调节器上都有一个给定值调整旋钮,可以对给定值进行人工整定。当旋钮的位置固定以后,控制系统的给定值就不再改变。例如,在燃油黏度控制系统中,若把给定值设定在 60 s(最佳喷射黏度)上,控制系统的任务就是在系统受到扰动后,最终要把燃油黏度控制在 60 s 上。

在程序控制和随动控制系统中,给定值是变化的。控制系统的作用是,使被控量始终跟踪给定值,随给定值而变化。两者的区别在于,程序控制系统给定值的变化是按人们事先安排好的规律进行变化的,一般给定值是一个时间的函数,如柴油机在高负荷区加速过程的转速控制。随动控制系统给定值是某个参数的函数,这个参数的变化是任意的,不可能按事先安排好的规律来描述。如随动操舵系统,其舵角给定值完全取决于当时瞬间船舶的航向情况。



三、反馈控制系统的品质指标

1. 反馈控制系统的动态过程

一个控制系统在运行过程中,若输出量(被控量)不随时间变化而是稳定在给定值上或给定值附近,系统的这种状态叫稳态。稳态是暂时的、相对的,因为系统经常会受到扰动,系统的平衡状态(稳态)就会遭到破坏。系统受到扰动后,由于控制对象有惯性,被控量不能突变,因此在受到扰动的短时间内,偏差不大。这样调节器输出的控制信号及经调节阀流入控制对象的物质或能量流量的改变量都不大,它不足以克服扰动,使偏差越来越大。随着偏差的增大,调节器输出的控制信号及由它所指挥的调节阀开度变化量都增大,克服扰动能力增强。控制系统在实际运行中,调节阀开度的变化量往往会过头,使被控量在向给定值恢复过程中,会出现反向偏差,即被控量会绕给定值产生波动。以后在调节器控制作用下,波动越来越小,最终被控量会稳定在新稳态值(给定值或给定值附近),系统达到一个新的平衡。

系统从受到扰动开始到被控量稳定在新稳态值,系统达到新的平衡状态的过程,也就是被控量随时间的变化规律,称为动态过程,也叫过渡过程。动态过程的特点是一个衰减振荡过程。

2. 评定控制系统动态过程品质的指标

控制系统之所以会出现动态过程,是因为对系统施加了输入(扰动)信号。其扰动形式是随机的,很难用一个数学表达式来精确地描述它,但可以归纳为四种扰动形式,这就是:阶跃形式、线性形式、脉冲形式、正弦形式。其中阶跃扰动是最严重的扰动,控制系统能把阶跃扰动控制住,对其他扰动形式也就容易控制了。因此,在这里我们只取阶跃的输入形式来研究控制系统的动态过程。所谓阶跃扰动是取扰动的突变形式,即在 $t=0$ 时刻(在施加扰动瞬间),扰动量突变一个值,以后这个值保持不变。如果这个突变值是一个单位,就称为单位阶跃扰动。阶跃扰动是基本符合实际的扰动形式。

为评定控制系统动态过程品质,要在阶跃扰动(输入)下,画出系统输出量(被控量)随时间的变化曲线。为说明问题方便起见,我们总是把控制系统的初始平衡状态定为坐标的零点。

控制系统接受的扰动有两种情况,一种是外部扰动不变,改变给定值。这时在调节器控制作用下,被控量将绕新的给定值振荡,最终稳定在新的给定值或给定值附近;另一种情况是给定值不变,改变外部扰动(定值控制),在调节器控制作用下,被控量将绕原给定值振荡且最终稳定下来。由于调节器控制作用的强弱不同以及仪表调校不当或参数不匹配,会使控制系统的动态过程出现各种形式。图 1-1-3 和图 1-1-4 分别画出了给定值不变而改变外部扰动和外部扰动不变而改变给定值的动态过程曲线。图中曲线 1 是等幅振荡,曲线 2 是发散振荡。控制系统这两种动态过程,被控量是不能稳定在新稳态值上的,称为不稳定系统。一个控制系统绝对不允许是一个不稳定系统。造成不稳定的动态过程的原因,除仪表调校或参数匹配不当之处,主要是调节器控制作用太强。曲线 3 表示控制系统的动态过程最稳定,被控量没有波动地逐渐达到新稳态值。但是,它的动态精度和稳态精度都很低,且被控量达到新稳态值所需时间很长,这是不可取的,造成这种现象的主要原因是调节器控制作用太弱。符合要求的动态过程是衰减振荡,如曲线 4 所示。当然不是所有衰减振荡都符合要求,为保证动态过程有一个良好的品质,可用一些指标来衡量它,在改变外部扰动和改变给定值两种情况下,其评定动态过程品质指标有些相同,有些不同。

对于定值控制系统来说,评定动态过程品质指标包括最大动态偏差 e_{\max} 、衰减率 φ 、过渡过



程时间 t_s 、振荡次数 N 及静态偏差 ε 等,如图 1-1-3 曲线 4 所示。

最大动态偏差 e_{\max} ,是指在衰减振荡中第一个波峰的峰值,它是动态精度指标。 e_{\max} 大,说明动态精度低,要求 e_{\max} 小些好。但不是越小越好,因为 e_{\max} 大小与调节器比例作用强弱有关,比例作用越强, e_{\max} 越小。比例作用太强,虽然 e_{\max} 很小,但动态过程的振荡会加剧。

衰减率 φ ,是指在衰减振荡中,第一个波峰值 $A = e_{\max}$,减去第二个同相波峰值 B 除以第一个波峰值 A ,即

$$\varphi = \frac{A - B}{A}$$

式中: φ 是衡量系统稳定性指标,要求 $\varphi = 0.75 \sim 0.9$ 。当 $\varphi = 0.75$ 时, A 是 B 的 4 倍,称为衰减比 4:1。 φ 不能小于 0.75,否则系统动态过程的振荡倾向增加,降低了系统稳定性,过渡过程时间也因振荡不息而加长。特别是当 $\varphi = 0$ 时,其动态过程是等幅振荡,系统变成不稳定系统,这是不允许的。 φ 也不能太大,否则 e_{\max} 会增大,过渡过程时间 t_s 也会拖得很长,当 $\varphi = 1$ 时,其动态过程没有振荡,成为非周期过程。这时 e_{\max} 很大, t_s 拖得很长,这是不可取的。

过渡过程时间 t_s ,是指从控制系统受到扰动开始到被控量重新稳定下来所需的时间。理论上讲,这个时间是无穷大,这是没有意义的。因此,我们这样来定义过渡过程时间 t_s :当 $t \geq t_s$ 时,满足

$$\frac{|y(t) - y(\infty)|}{y(\infty)} \leq \Delta$$

式中: $y(t)$ 是系统受到扰动后,在时间为 t 时的被控量值; $y(\infty)$ 是被控量的最终稳态值; Δ 是选定的任意小的值,一般取 $\Delta = 0.02$,或 $\Delta = 0.05$ 。

上式的物理意义是,当 $t \geq t_s$ 的所有时间内,被控量 $y(t)$ 的波动值 $|y(t) - y(\infty)|$ 均小于或等于最终稳态 $y(\infty)$ 的 2% 或 5%, t_s 就是过渡过程时间。

振荡次数 N ,是指在衰减振荡中,被控量的振荡次数。一般要求被控量振荡 2 ~ 3 次就应稳定下来。

静态偏差 ε ,是指动态过程结束后,被控量新稳态值与给定值之间的差值。 ε 越小说明控制系统的静态精度越高。在实际控制系统中,由于所使用不同作用规律调节器,其存在静态偏差的情况也不相同。

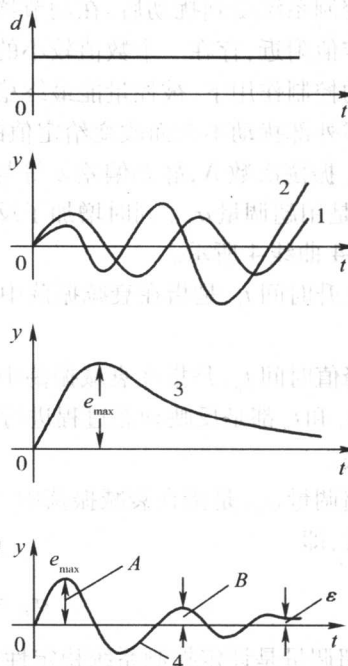


图 1-1-3 改变外部扰动控制系统的动态过程

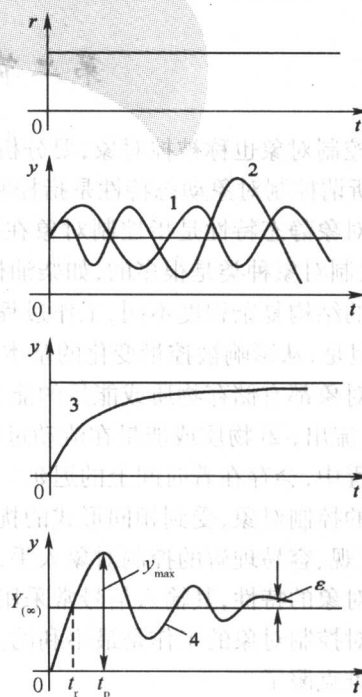


图 1-1-4 改变给定值控制系统的动态过程



有的控制系统受到扰动后,在调节器控制作用下,被控量最终不能稳定在给定值上,只能稳定在给定值附近,存在一个数值较小的静态偏差,这是有差调节。有的控制系统受到扰动后,在调节器的控制作用下,被控量能最终稳定在给定值上, $\varepsilon = 0$,这是无差调节。

在外部扰动不变而改变给定值的控制系统中,评定动态过程品质的一些指标,如过渡过程时间 t_s 、振荡次数 N 、静态偏差 ε 等与定值控制系统是一样的。只是评定稳定性指标不用衰减率,而是用超调量 σ_p 。同时增加了反映控制系统响应速度的两个指标:上升时间、峰值时间,如图1-1-4曲线4所示。

上升时间 t_r ,是指在衰减振荡中,被控量从初始平衡状态第一次达到新稳态值 $y(\infty)$ 所需时间。

峰值时间 t_p ,是指在衰减振荡中,被控量从初始平衡状态达到第一个波峰峰值所需要的时间 t_p 。 t_r 和 t_p 都是反映动态过程进行快慢的指标。 t_r 、 t_p 越小,说明系统惯性越小,动态过程进行得越快。

超调量 σ_p ,是指在衰减振荡中,第一个波峰值 y_{\max} 减去新稳态值 $y(\infty)$ 与新稳态值之比的百分数,即

$$\sigma_p = \frac{y_{\max} - |y(\infty)|}{|y(\infty)|} \times 100\%$$

超调量是评定控制系统稳定性的指标。超调量越小,控制系统动态过程波动越小,稳定性越好。但若 σ_p 太小,甚至 $\sigma_p = 0$ 时,被控量无波动地逐渐靠近给定值,成为非周期过程,系统稳定性虽然最好,但 t_s 拖得太长,这是不可取的。若 σ_p 太大,控制系统动态过程的振荡明显加剧,使系统稳定性变差。由于振荡不息, t_s 也必定拖得很长。在实际过程中,要求 $\sigma_p < 30\%$ 。

第二节 控制对象的特性

控制对象也称被控对象,要分析反馈控制系统,首先要了解控制对象的动态特性和静态特性。所谓控制对象动态特性是指控制对象在基本扰动下被控量随时间的变化规律特性。所谓控制对象静态特性是指控制对象在基本扰动下被控量达到新稳态值的变化量。在船舶机舱中,控制对象种类是很多的,如柴油机、锅炉、加热器、冷却器、空气瓶、水柜、油柜等。这些控制对象的结构复杂程度不同,工作过程所遵循的物理学定律不同,因而它们的工作原理也各不相同。但是,从影响被控量变化的基本因素来看,各种控制对象又有共同之处,这就是:①所有的控制对象都有储存物质或能量的能力,且当控制系统受到扰动后,会伴随有物质或能量流入或(和)流出;②物质或能量在流动过程中会受到阻力;③物质或能量在流动过程中或信号在传递过程中,会存在着时间上的迟延。由于控制对象有这些共同特点,可能使内部物理过程完全不同的控制对象,受到相同形式的扰动后,其被控量的变化规律是相同的。这就能使我们从简单、直观、容易理解的控制对象入手,分析其动态和静态特性,所得结论具有普遍意义。为分析控制对象的特性,其输入信号常采用阶跃扰动的形式,这符合控制对象的工作实际。同时阶跃扰动对控制对象的工作是最不利的。如果控制对象能克服阶跃扰动,那么其他形式的扰动也就不难克服了。

一、单容控制对象的动态特性

任何控制对象都有储存物质或能量的能力,所谓单容控制对象是指只有一个储存物质或



能量容积的控制对象。在机舱中,凡是水柜、油柜以及以水位为被控量的锅炉都属于单容控制对象。显然,被控量的变化量是控制对象的输出量;扰动量(基本扰动和外部扰动)是控制对象的输入量。图 1-2-1 画出了一个简单的水柜。它只有一个储存水的容器,是单容控制对象最简单的例子。水位是被控量(输出量),给水阀 A 开度的变化是基本扰动,出水阀 B 开度的变化是外部扰动。

1. 容量系数

水柜储存水的容积 $V = F \cdot h$ 叫容量,式中: F 是水柜的底面积, h 是被控量,也就是水位的高度。显然,容量是随被控量变化的,它不能准确表示出流入和流出控制对象的水流量的变化量对水位的影响。为此,要引入容量系数 C 这个概念。容量系数 C 是指被控量变化一个单位其容量的变化量,也就是 C 等于容量的变化量与水位变化量 d_h 的比值。

可见,单容水柜的容量系数就等于水柜的底面积。水柜底面积越大,也就是容量系数越大,为使水位升高一个单位,就要求流入控制对象更多的水量。

现假定保持给水阀 A 和出水阀 B 的开度不变,且给水流量 Q_i 与出水流量 Q_o 相等 $Q_i = Q_o$,水位 h 保持不变,这就是控制对象的初始平衡状态,并把这个初始平衡状态定为坐标 0 点。现对水柜施加一个阶跃的基本扰动,即保持出水阀 B 开度不变,突然开大给水阀 A, Q_i 就会阶跃增加,由于 $Q_i > Q_o$,水位 h 就会升高,容量 V 就会增大,而被控量的变化速度为

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{C}(Q_i - Q_o) \quad (1)$$

该式说明,在扰动 $(Q_i - Q_o)$ 相同的情况下,容量系数越大,被控量变化越慢(变化速度 dh/dt 小),我们就说控制对象惯性越大;反之, C 越小,在相同扰动下,被控量变化越快,控制对象惯性也就越小。

2. 阻力系数

如果保持出水阀 B 开度不变,突然开大给水阀 A,由于存在流量差 $Q_i - Q_o$,水位 h 会升高。由于水位 h 升高,它对水柜底部的静压头增大,则在出水阀 B 开度不变的情况下,出水流量 Q_o 会增加,使流量差 $Q_i - Q_o$ 逐渐减少,水位 h 上升会越来越慢。当出水流量增加到 $Q_i - Q_o = 0$ 时,水位不再上升而达到一个新的平衡状态。可见,水经出水阀 B 流动是会受到阻力的,用 R 表示阀 B 的阻力系数。若水经阀 B 是做层流运动,那么

$$Q_o = \frac{h}{R}$$

式中:出水流量 Q_o 、阻力系数 R 和水位 h 之间是线性关系。如果水流经阀 B 是紊流,则阻力系数不再是常数, Q_o 与 h 之间不是线性关系。这样要通过线性化把 R 变成为常数,其方法从略。

3. 单容控制对象的阶跃响应

控制对象在初始平衡状态下,把给水阀 A 突然开大 $\Delta\mu$ (阶跃变化),若阀 A 的流量系数为 K_μ ,则流入水柜的给水流量 Q_i 也会阶跃增大,且 $Q_i = K_\mu \cdot \Delta\mu$ 。这时水位 h 会升高,随之出水流量 Q_o 也会逐渐增大。把前面给出的水位变化速度表达式中的 Q_i 用 $K_\mu \cdot \Delta\mu$ 代入, Q_o 用 h/R 代入,则有

$$T \frac{dh}{dt} + h = K \cdot \Delta\mu$$